RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM AREIA DE BRITAGEM E FINOS DE ROCHA GRANÍTICA SOB AÇÃO DE SULFATOS

Ivania da Silva Santana, Luã Melo Sobral Lopes, Gabriella Cintra dos Santos, Filipe Reis da Silveira Carvalho, José Humberto Teixeira Santos, Fernanda Nepomuceno Costa.

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/ Centro de Ciência Exatas e Tecnológicas, Rua Rui Barbosa, 710, Centro – 44380-000 – Cruz das Almas – BA, Brasil, ivaniadias3010@gmail.com, lualmsl98@gmail.com, gabycintr4@gmail.com, filipe.r.s.carvalho2018@gmail.com, jhtsantos@ufrb.edu.br, fernandacosta@ufrb.edu.br.

Resumo

O concreto autoadensável (CAA) apresenta elevada fluidez e capacidade de preenchimento, sendo seu desempenho e durabilidade influenciados pelas características dos materiais constituintes e pelas condições de exposição. Nesse contexto, este trabalho avaliou a resistência à compressão de CAA com incorporação de finos provenientes do processamento de britas, quando submetido à ação de sulfatos. Foram analisados dois traços: um de referência (T.REF) e outro com incorporação de 1% de finos (T1). Após a moldagem e cura inicial, os corpos de prova foram divididos entre cura em câmara úmida e imersão em solução de sulfato de sódio a 5% em massa, sendo avaliados aos 14, 28 e 63 dias. Os resultados mostraram aumento da resistência ao longo das idades para ambos os traços, com valores próximos entre as condições de exposição. O T1 apresentou comportamento semelhante ao T.REF, indicando que a incorporação dos finos não comprometeu a resistência mecânica. Assim, até os 63 dias avaliados, não foram observadas perdas expressivas de resistência à compressão associadas à exposição ao sulfato.

Palavras-chave: Concreto autoadensável. Areia de britagem. Sulfato. Durabilidade.

Área do Conhecimento: Engenharias.

Introdução

Diante da necessidade de desenvolver tecnologias capazes de proporcionar maior desempenho, qualidade e produtividade na construção civil, surgiu o concreto autoadensável (CAA). Esse material foi desenvolvido para superar limitações dos concretos convencionais, apresentando elevada capacidade de escoamento e preenchimento das formas sem a necessidade de adensamento mecânico. Como resultado, o CAA contribui para a redução da mão de obra, proporcionando aumento da produtividade (Tutikian; Dal Molin, 2015).

A incorporação de materiais finos no concreto autoadensável desempenha papel fundamental no aprimoramento de suas propriedades no estado fresco e endurecido. Esses materiais favorecem as reações de hidratação do cimento nas primeiras idades, contribuindo para o desenvolvimento inicial da resistência mecânica (fonte). Além disso, o aumento da quantidade de partículas finas promove maior compacidade da matriz cimentícia, reduzindo a permeabilidade e dificultando a entrada de agentes agressivos, o que resulta em melhorias na zona de transição e na durabilidade do material (Tutikian; Dal Molin, 2008). Nesse contexto, a utilização de elevados teores de finos torna-se indispensável para garantir um desempenho reológico adequado do CAA (Siqueira, 2020).

A durabilidade do concreto está diretamente relacionada à sua capacidade de resistir à ação de agentes agressivos ao longo do tempo, preservando suas propriedades mecânicas e sua funcionalidade durante a vida útil da estrutura (Mehta; Monteiro, 2008; Neville, 2015).

Entre os agentes capazes de comprometer a durabilidade do concreto, destacam-se os sulfatos, que podem ingressar na matriz cimentícia por meio da rede de poros e reagir com os produtos de hidratação do cimento. O ataque ocorre a partir de reações químicas entre os íons sulfato e determinados constituintes da pasta cimentícia, podendo resultar na formação de produtos como gipsita e etringita. A formação e o acúmulo desses compostos podem gerar tensões internas e processos expansivos, favorecendo o surgimento de microfissuras e, com a evolução do ataque, a perda das propriedades mecânicas e a deterioração do concreto (Santos; Amorim Júnior; Ribeiro, 2021). A

intensidade desse processo depende das características da matriz cimentícia e da facilidade de ingresso e transporte da solução agressiva através do sistema de poros.Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a ação de sulfatos em concretos autoadensáveis produzidos com substituição parcial da areia natural por resíduo do processamento dede britas (RPB), comparando seu comportamento com um concreto de referência. Para isso, os concretos foram submetidos a diferentes condições de exposição e avaliados ao longo do tempo, buscando analisar os efeitos do ambiente agressivo sobre seu desempenho e contribuir para a compreensão da influência da incorporação desse material na durabilidade do CAA.

Metodologia

Na produção dos concretos autoadensáveis foram utilizados cimento Portland (CP V-ARI), areia natural (AN), areia de britagem (AB), conhecida popularmente como “pó de brita”, brita com dimensão máxima característica de 12,5 mm, água e aditivos químicos. Para o traço com adição mineral, utilizou-se fino de rocha granítica (FRG), obtidos por meio do peneiramento da areia de britagem na peneira de abertura 75 µm. Todos os materiais foram fornecidos por uma empresa de concreto usinado localizada na região do Recôncavo da Bahia. Como aditivos, foram empregados o polifuncional (MIRA SET 148) e o superplastificante (POWERFLOW 1108).

Para determinar as propriedades fundamentais dos agregados (areia natural, areia de britagem e brita) com finalidade de garantir a conformidade com os requisitos normativos foi realizado sua caracterização física. A classificação da distribuição granulométrica foi obtida pelo método de peneiramento, seguindo os procedimentos de ensaio estabelecidos pela NBR 17054 (ABNT, 2022), enquanto a classificação geral dos agregados seguiu as diretrizes da NBR 7211 (ABNT, 2022), o teor de materiais pulverulentos que passa pela peneira de 75 µm foi determinado por meio do método de lavagem, conforme preconiza a NBR 16973 (ABNT, 2021).

Antes da produção dos concretos, a AB e o FRG foram submetidos à secagem em estufa (105 ± 5º C) até a obtenção de massa constante. Posteriormente, os materiais foram acondicionados em recipientes fechados e mantidos em ambiente protegido até o momento de sua utilização.

O traço empregado na produção do concreto autoadensável (CAA) foi definido com base no estudo desenvolvido por Brandão (2023), adotando-se como referência um traço padrão (T.REF) fornecido por uma central de concreto localizada na região do Recôncavo da Bahia. A partir desse traço de referência, foram realizadas modificações no teor de agregado miúdo, promovendo a substituição parcial, em massa, da areia natural (AN) pela areia de britagem (AB), proveniente do resíduo do processamento de britas.

O traço modificado apresentou acréscimo de 1% no teor de resíduo do processamento de britas, composto por areia de britagem (AB) e fino de rocha granítica (FRG), com redução equivalente de 1% no teor de areia natural (AN) de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Composição dos traços de concreto autoadensável utilizados no estudo.

Traços	AN	AB	FRG	$B_{12,5}$	AP*	AS**	m (kg/kg)	C (kg/m³)	a/c (kg/kg)
T.REF	43,4%	10,8%	-	45,8%	-	-	-	-	-
T. unitário	2,12	0,53	-	2,24	3,861	6,04	4,89	372,66	0,56
T1	42,4%	10,8%	1,0%	45,8%	-	-	-	-	-
T. unitário	2,07	0,53	0,05	2,24	3,861	6,047	4,89	372,83	0,56

Fonte: Autores, 2026.

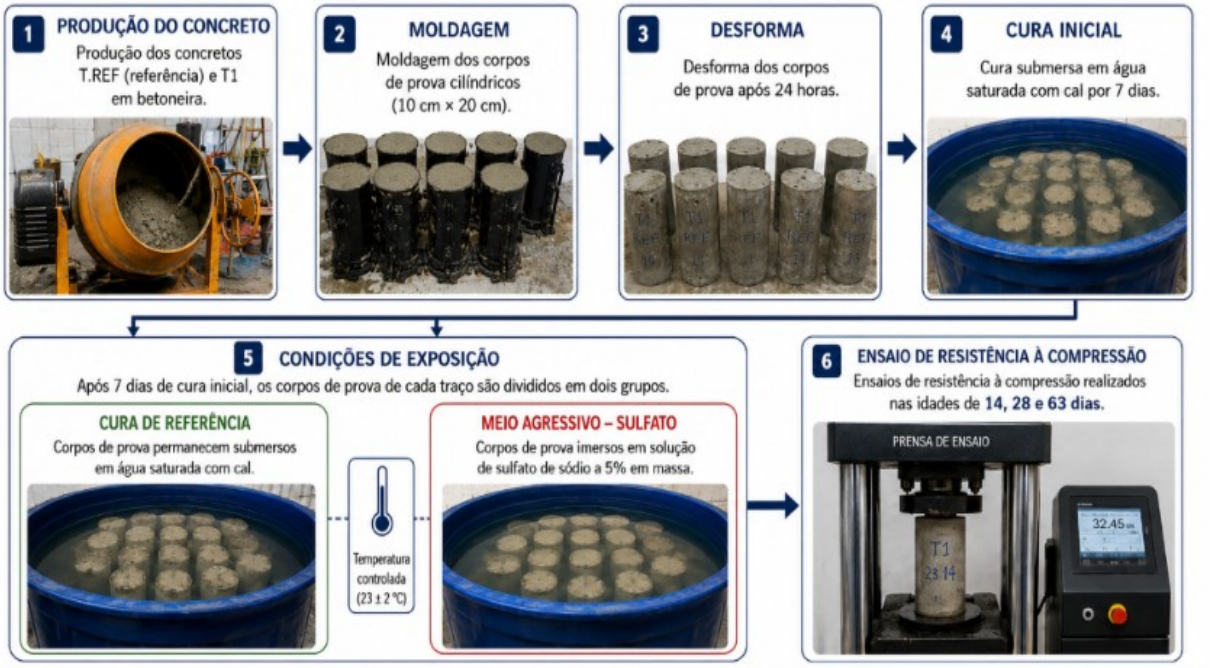
A relação água/cimento (a/c) foi mantida em 0,56 para todos os traços, para classe de agressividade ambiental II, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2023). Os teores dos aditivos MIRA SET 148 (0,41%) e POWERFLOW 1108 (0,65%) também foram mantidos constantes, em relação à massa de cimento CP V-ARI.

Para avaliação das propriedades no estado endurecido, foram moldados 40 corpos de prova cilíndricos (10 × 20 cm), sendo 20 para cada traço, seguindo a metodologia disposta na NBR 5738 (ABNT, 2015). Após 24 horas, os corpos de prova foram desmoldados e submetidos à cura úmida submersa saturada com cal, por 7 dias.

Posteriormente, os corpos de prova de cada traço foram divididos em dois grupos: i) cura submersa em água saturada com cal (como condição de referência); ii) imerso em solução de sulfato de sódio a 5% (como meio agressivo). Ambos os grupos foram mantidos sob temperatura controlada de (22 ± 2) °C até as datas dos ensaios.

A Figura 1 apresenta o fluxograma das etapas experimentais desenvolvidas nesta pesquisa, desde a mistura dos materiais, produção, moldagem e cura dos concretos até a realização dos ensaios de determinação da resistência à compressão axial.

Figura 1 – Fluxograma do procedimento experimental para produção, cura, exposição ao sulfato e ensaio de resistência à compressão dos concretos autoadensáveis.



Fonte: Elaborado pelos autores, com auxílio de inteligência artificial (ChatGPT/OpenAI).

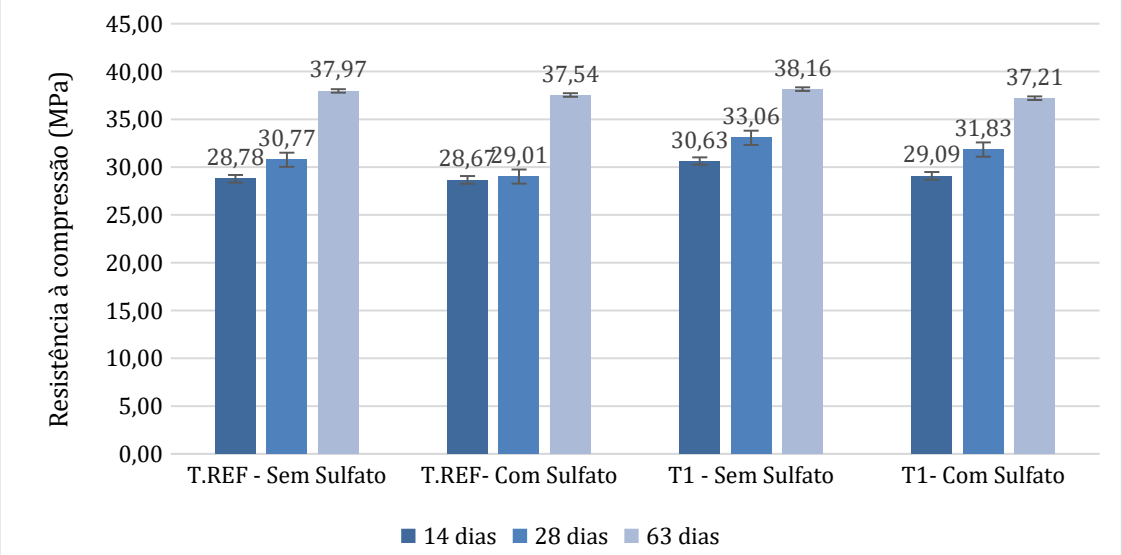
A resistência à compressão axial dos concretos foi determinada conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018), utilizando-se uma prensa hidráulica modelo YAM-2000D, da fabricante Time Group Inc., com capacidade máxima de 200 toneladas.

Os ensaios foram realizados em três idades distintas: 14 dias, 28 dias e 63 dias para ambos os ambientes de cura.

Resultados

Os resultados de resistência à compressão dos concretos autoadensáveis foram analisados nas idades de 14, 28 e 63 dias, considerando os dois traços estudados (T.REF e T1) e as diferentes condições de exposição: cura submersa em água saturada e imersão em solução de sulfato de sódio. A Figura 2 apresenta a evolução da resistência à compressão ao longo das idades, permitindo comparar o comportamento dos traços em cada meio de exposição e identificar possíveis alterações no desempenho mecânico decorrentes da ação dos sulfatos.

Figura 2 – Resistência à compressão dos concretos submetidos a cura submersa em água com cal e cura submersa em água com sulfato de sódio.



Fonte: Autores, 2026.

Discussão

A análise dos resultados de resistência à compressão mostra que os concretos submetidos à solução de sulfato de sódio apresentaram comportamento próximo aos mantidos em condição normal de cura. Nas idades de 14, 28 e 63 dias, não foi observada redução expressiva da resistência que pudesse ser diretamente associada à exposição ao sulfato. Esse comportamento pode estar relacionado ao período de exposição, uma vez que o ataque por sulfatos é um processo progressivo. Em estágios iniciais, os produtos formados pelas reações entre os íons sulfato e a matriz cimentícia podem ocupar parcialmente os vazios existentes, mantendo temporariamente o desempenho mecânico. Com o avanço da exposição, entretanto, a formação de produtos expansivos pode favorecer a microfissuração e, consequentemente, a redução da resistência.

Em relação à incorporação dos finos, o T1 apresentou desempenho mecânico satisfatório, com valores médios de resistência superiores ao T.REF na condição sem sulfato aos 14 e 28 dias, enquanto aos 63 dias os resultados foram próximos. Esse comportamento indica que a incorporação utilizada pode ter contribuído positivamente para o desenvolvimento da resistência, principalmente nas idades iniciais e intermediárias. Resultados semelhantes foram encontrados por Brandão (2023) ao avaliar a substituição parcial da areia natural por areia de britagem em CAA. O autor verificou que todas as formulações estudadas apresentaram resistência superior à resistência de projeto e relacionou o desempenho mecânico à presença de partículas finas provenientes da britagem, que podem preencher vazios e favorecer a formação de uma matriz mais compacta e densa.

Esse comportamento também está de acordo com os resultados apresentados por Siqueira (2020) e Santos (2024), que indicam a viabilidade da utilização de materiais provenientes do processamento da brita na produção de CAA. Brandão (2023), ao discutir Siqueira (2020), destaca que concretos contendo areia de britagem e finos de rocha granítica apresentaram elevada resistência à segregação, reforçando a possibilidade de utilização desses materiais na composição do CAA. Os resultados de Santos (2024) também apontam melhoria da resistência à compressão com a incorporação desses materiais, comportamento associado ao melhor empacotamento das partículas e à maior compacidade da matriz.

Assim, os resultados obtidos indicam que, até os 63 dias, a exposição à solução de sulfato de sódio não ocasionou perda expressiva de resistência à compressão. Além disso, o desempenho do T1 demonstra que a incorporação dos finos provenientes do processamento da brita apresentou potencial para melhorar o comportamento mecânico do CAA, especialmente nas primeiras idades avaliadas. Entretanto, períodos mais prolongados de exposição são necessários para verificar a evolução dos efeitos do ataque por sulfatos sobre esses concretos.

Conclusão

A partir dos resultados obtidos nessa pesquisa, pode-se concluir:

- Os concretos autoadensáveis apresentaram aumento da resistência à compressão com o avanço das idades, tanto em condição de cura normal quanto após exposição à solução de sulfato de sódio a 5% em massa.

- Até os 63 dias, a exposição ao sulfato de sódio não provocou perdas expressivas de resistência à compressão em relação aos respectivos traços mantidos em cura normal, indicando que, no período avaliado, não foram observados efeitos deletérios significativos sobre o desempenho mecânico.

- A combinação da substituição parcial da areia natural por areia de britagem com a incorporação de 1% de finos de rocha granítica apresentou desempenho mecânico satisfatório, com o traço T1 superando o T-REF aos 14 e 28 dias na condição de referência e apresentando valores próximos aos 63 dias.

- O desempenho observado para o T1 indica que a presença da areia de britagem e dos finos de rocha granítica pode favorecer o desenvolvimento da resistência, possivelmente em razão do melhor preenchimento dos vazios e do aumento da compacidade da matriz.

- Os resultados evidenciam o potencial de utilização conjunta da areia de britagem e dos finos de rocha granítica na produção de CAA, inclusive em condições de exposição a sulfatos, nas condições e no período avaliados.

Recomenda-se ampliar o período de exposição e realizar avaliações complementares, incluindo variação dimensional, perda de massa e análise microestrutural, para melhor caracterizar a evolução do ataque por sulfatos em idades mais avançadas.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto.** Rio de Janeiro, 2026. 263 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2022. 28 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12821: Preparação de concreto em laboratório – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2009. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-1: Concreto autoadensável – Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco.** Rio de Janeiro, 2017. 20 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios.** Rio de Janeiro, 2021. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16973: Agregados – Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem.** Rio de Janeiro, 2021. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054: Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2022. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2015. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2018. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2022. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768-1: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Parte 1: Requisitos.** Rio de Janeiro, 2019. 33 p.

BRANDÃO, M. C. S. **Avaliação da viabilidade técnica e econômica da incorporação de areia de britagem em substituição parcial da areia natural para a produção de CAA a partir de um traço**

de uma usina. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2023.

KASANIYA, M.; THOMAS, M. D. A.; MOFFATT, E. G. Efficiency of natural pozzolans, ground glasses and coal bottom ashes in mitigating sulfate attack and alkali-silica reaction. **Cement and Concrete Research**, v. 149, 106551, 2021.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008.

MENADI, B.; KENAI, S.; KHATIB, J.; AÏT-MOKHTAR, A. Strength and durability of concrete incorporating crushed limestone sand. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 2, p. 625–633, 2009.

MORAES, C. M.; COSTA, J. H. B.; FERNANDEZ, O. J. C.; SOUSA, E. O. Using crushed stone dust as a substitute for fine aggregates in concrete. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 8, e7169, 2024.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

PRATHYUSHA, L.; NAIK, B. H. Effect of stone dust and fines on the properties of high strength self compacting concrete. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 7, n. 6, p. 393 –399, 2016.

SANTOS, B. S.; AMORIM JÚNIOR, N. S.; RIBEIRO, D. V. Degradação das matrizes cimentícias. *In:* RIBEIRO, D. V. (org.). **Princípios da ciência dos materiais cimentícios: produção, reações, aplicações e avanços tecnológicos.** Curitiba: Appris, 2021. p. 441–520.

SANTOS, T. J. C. **Efeito da incorporação de resíduos do processo de britagem de rochas graníticas em substituição parcial da areia natural na carbonatação do concreto autoadensável.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2024.

SIQUEIRA, T. P. L. **Uso de finos de rocha granítica (FRG) e areia de britagem, produzidos na Região Metropolitana de Salvador (RMS), para a produção de concreto autoadensável.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2020.

TIAN, B.; COHEN, M. D. Does gypsum formation during sulfate attack on concrete lead to expansion? **Cement and Concrete Research**, v. 30, n. 1, p. 117–123, 2000.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto auto-adensável.** São Paulo: PINI, 2008.
TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto autoadensável.** 2. ed. São Paulo: PINI, 2015.

Declaração sobre o uso de inteligência artificial

Durante a preparação deste artigo, os autores utilizaram ferramentas de IA para criação de imagens, melhoria da coesão textual e correção ortográfica. Após seu uso, o conteúdo foi revisado pelos autores, que assumem total responsabilidade pelo artigo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) e ao Grupo de Pesquisa VALORA Civil/UFRB pelo apoio e suporte ao desenvolvimento desta pesquisa. Agradecem, ainda, a empresas Massa Fort Concreto e a Mineradora Pedra do Cavalo pelo fornecimento dos materiais utilizados na realização do estudo.